

Evaluación de protocolos de encaminamiento en una red inalámbrica mallada desplegada en una zona rural

Esteban Municio⁽¹⁾, Marco Quispe⁽²⁾, Ronald Paucar⁽²⁾, Mariano Chuchón⁽²⁾, Daniel Díaz⁽²⁾.

e.municio@alumnos.upm.es, mquispe@inictel-uni.edu.pe, rpaucar@inictel-uni.edu.pe, mchuchon@inictel-uni.edu.pe, ddiaz@inictel-uni.edu.pe.

⁽¹⁾ ETSI de Telecomunicación, Universidad Politécnica de Madrid, España

⁽²⁾ INICTEL-UNI, Universidad Nacional de Ingeniería, Perú

Abstract- The implementation of wireless communication systems in rural areas through the deployment of data networks in infrastructure mode is often inadequate due to its high cost and no fault tolerant centralized structure. Mesh networks can overcome these limitations while increases the coverage area in a more flexible way. This paper proposes the performance evaluation of the routing protocols IEEE 802.11s and Batman-Adv on an experimental wireless mesh network deployed in a rural environment called Lachocc, which is a community located at 4700 MASL in the Huancavelica region in Peru. The evaluation was based on the measurement of quality of service parameters such as bandwidth, delay and delay variation. As a result, it was determined that both protocols offer a good performance, but in most of the cases, Batman-Adv provides slightly better performance.

I. INTRODUCCIÓN

Generalmente, las mejoras producidas por el avance de las TIC (Tecnología de Información y Comunicación) no se transfieren a la población mundial de igual manera, generando el crecimiento de la brecha digital. Dicha diferencia es mayor en las zonas rurales de los países en vías de desarrollo, debido a que en ellas existe una problemática inherente a la hora de desplegar las TICs, generalmente son áreas de difícil acceso en las cuales la población se encuentra muy dispersa, lo que origina que la mayoría de los proyectos de despliegue de infraestructuras resulten económicamente inviables. En países desarrollados el estado generalmente se hace cargo de estos proyectos no rentables; sin embargo en los países en vías de desarrollo no se realiza esta tarea o se realiza parcialmente. Por ello, una alternativa efectiva en costos de operación y mantenimiento es utilizar tecnologías de redes malladas inalámbricas, debido a que gracias a su filosofía descentralizada, se aprovechan mejor los recursos de la red y se cubren grandes áreas de cobertura, logrando una alta resistencia a caídas de enlaces y cambios de topología, gracias a la gran cantidad de enlaces redundantes presentes en ella lo que las convierte en redes robustas y fiables. Las redes malladas inalámbricas son cada vez más usadas en entornos rurales como lo demuestran los proyectos Village Telco [1] o RedesLibres [2].

Como el funcionamiento de una red multsalto depende en gran medida del protocolo de encaminamiento utilizado, este trabajo se centra en comparar el rendimiento de una red mallada inalámbrica experimental en base a la

implementación de dos de ellos, con enfoque de software libre: IEEE 802.11s [3] y Batman-Adv [4].

Para ello se desplegó una red de dicho tipo en un escenario alto andino de la sierra Peruana, en la región Huancavelica.

II. PROTOCOLOS DE ENCAMINAMIENTO PARA REDES MALLADAS

Los protocolos de encaminamiento IEEE 802.11s y Batman-Adv son implementaciones a nivel 2 con respecto al modelo de referencia OSI, lo que los diferencia de otros protocolos de nivel 3 como OLSR [5]. A continuación éstos son descritos.

A. BATMAN-ADV

B.A.T.M.A.N Advanced (Batman-adv) es una implementación de nivel 2 OSI del protocolo de encaminamiento B.A.T.M.A.N (*Better Approach to Mobile Ad-hoc Networking*) [6]. B.A.T.M.A.N es un protocolo de encaminamiento para redes mesh/ad-hoc inalámbricas multsalto y cuyo diseño fue motivado a causa de algunas deficiencias del protocolo OLSR, como el alto consumo de recursos de red. Las primeras implementaciones de B.A.T.M.A.N operan en la capa 3 del modelo OSI [7], sin embargo, Batman-adv actúa como un solo segmento de nivel de enlace compartido por todos los clientes.

En Batman, no es necesario que los nodos tengan la información completa de la topología de la red y del estado de sus enlaces. En su lugar, reciben y mantienen sólo la información correspondiente al mejor "siguiente salto" hacia el resto de los nodos de la red. Para construir las tablas de encaminamiento, cada nodo transmite mensajes en *broadcast* llamados *Originator Messages* (OGM), de esa manera informan a los nodos vecinos sobre su existencia. Éstos a su vez difunden los OGM según algunas reglas específicas para informar a sus vecinos sobre la existencia del nodo que originalmente envió el paquete. De esta manera, la red es inundada de forma selectiva con los mensajes OGM, paquetes de 52 bytes que contienen la dirección del nodo que originalmente envió el paquete, la dirección del último nodo que transmitió el paquete, TTL (*Time-to-live*) y un número de secuencia. De esta manera, todos los nodos de la red tendrán constancia de la existencia del resto de nodos, pero no tendrán información topológica acerca de la ruta hacia ellos, ni de la calidad que tienen los enlaces por separado.

Para saber cuál es el mejor enlace hacia un nodo, se hace uso de una ventana deslizante para almacenar los números de secuencia recibidos de cada destino. El número de secuencia permite diferenciar información nueva y obsoleta. La ventana deslizante tiene un tamaño máximo de 255 y la cantidad de números de secuencia (paquetes recibidos no repetidos) en la ventana se usa como métrica para determinar la calidad de las rutas hacia el resto de nodos de la red. Esta métrica recibe el nombre de TQ (*Transmission Quality*).

B. IEEE 802.11s

El estándar IEEE 802.11s fue definido para establecer topologías malladas en redes IEEE 802.11. Es una solución de nivel 2 OSI que provee de capacidades de encaminamiento a dichas redes. El protocolo que usa por defecto se denomina HWMP (*Hybrid Wireless Mesh Protocol*). El protocolo HWMP contempla 2 modos de funcionamiento: basado en encaminamiento reactivo (modo por demanda) y basado en encaminamiento proactivo (modo Root). Esta forma de trabajo hace que HWMP posea el bajo consumo del descubrimiento de ruta bajo demanda y la eficiencia de un encaminamiento proactivo. En el enfoque reactivo o por demanda está basado en el protocolo RM-AODV, mientras que el enfoque proactivo se basa en la construcción de un árbol de encaminamiento, donde el nodo Root posee la información sobre la topología de la red. Esta flexibilidad ofrecida por HWMP hace que IEEE 802.11s sea adecuado para una gran variedad de dispositivos y redes.

La métrica considerada por defecto se denomina *Airtime Link Metric* (ALM), aunque también soporta a otras que consideran, por ejemplo, la QoS o el balanceo de carga. ALM está diseñado para estimar la cantidad de recursos del canal consumidos cuando las tramas son transmitidas, tomando como parámetros la tasa de pérdidas de paquetes y el ancho de banda del enlace inalámbrico. Una de las ventajas que posee IEEE 802.11s, es que además de poseer las características de cualquier protocolo de encaminamiento de nivel 2 OSI, permite definir de una manera más precisa aspectos de seguridad y el acceso al medio. Esta estrecha relación con el nivel físico, hace que, a diferencia de Batman-adv, que trabaja con cualquier tipo de red, IEEE 802.11s sólo pueda trabajar con redes inalámbricas del tipo LAN 802.11. Actualmente existen pocas implementaciones 802.11s debido a que se trata de un estándar recientemente publicado en Julio de 2012. La implementación más importante y extendida es open80211s [8].

III. IMPLEMENTACIÓN

A. Escenario

La red mallada inalámbrica experimental se ha desplegado en la comunidad rural Lachocc, ubicada en la región Huancavelica, en el Perú, la cual se encuentra ubicada a una altura de 4700 msnm y cuenta con una población promedio de 100 habitantes. Allí también se encuentra el Centro de Investigación y Desarrollo de Camélidos Sudamericanos (CIDCS) de la Universidad Nacional de Huancavelica (UNH). El CIDCS cuenta con siete pequeñas casas correspondientes a los pastores encargados del cuidado de los camélidos, los cuales se encuentran distribuidos en el área correspondiente a la comunidad. La interconexión de cuatro de estas casas (denominadas casa2, casa3, casa4 y casa5) se realizó a través de una red mallada inalámbrica

experimental en la cual se hizo uso de los protocolos de encaminamiento IEEE 802.11s (HWMP en modo reactivo) y Batman-Adv. Se ha escogido el modo reactivo de HWMP, debido a que es el que más diferencias aporta respecto a Batman-adv. En la Figura 1 se muestra la topología de la red implementada así como las distancias entre los nodos.



Fig. 1. Topología de la red mallada inalámbrica experimental

B. Detalles de la implementación

1. Hardware

Se utilizaron los equipos Nanostation M5 (NS M5) de la marca Ubiquiti Networks, los cuales operan bajo el estándar IEEE 802.11n a una frecuencia de 5.8 GHz (canal 161). Se han configurado para trabajar con una potencia de 15dbm y con un ancho de canal de 40Mhz (HT40+). A estos equipos se ha conectado una computadora, por lo que también actúan como puntos de acceso. Las computadoras poseen puertos Fast Ethernet y fueron conectadas a las antenas por cables UTP Categoría 5 de 30 metros de longitud. Las antenas fueron colocadas a una altura de 4 metros respecto al suelo. Para estas posiciones, los niveles de potencia recibida para cada antena se muestran en la Tabla I

Tabla I. Potencias recibidas de cada antena

| | Casa2 | Casa3 | Casa4 | Casa5 |
|-------|------------|------------|------------|--------|
| Casa2 | | sin enlace | sin enlace | -68dBm |
| Casa3 | sin enlace | | -59dBm | -74dBm |
| Casa4 | sin enlace | -63dBm | | -68dBm |
| Casa5 | -69dBm | -75dBm | -69dBm | |

En pruebas realizadas en laboratorio, en condiciones de propagación muy favorables, estos equipos presentan una tasa (velocidad de transmisión) promedio de 93.6 Mbps en un solo salto para ambas soluciones de encaminamiento.

2. Software

Para usar los equipos NS M5 como nodos de redes inalámbricas malladas, se ha compilado el OpenWRT (*firmware* basado en GNU/Linux) con soporte de los drivers para los módulos IEEE 802.11s y Batman-Adv.

IV. RESULTADOS

Los datos recolectados durante la evaluación realizada fueron procesados y son presentados en las Figuras 2, 3 y 4, las cuales corresponden a la dependencia de los parámetros

de retardo medio acumulado, ancho de banda máximo y variación media de retardo (*jitter*) respectivamente en relación al número de saltos.

En la Figura 2 se observa que el retardo medio es, en todos los casos, ligeramente menor en Batman-Adv que en IEEE 802.11s, aunque esta diferencia es mínima para 4 y 5 saltos.

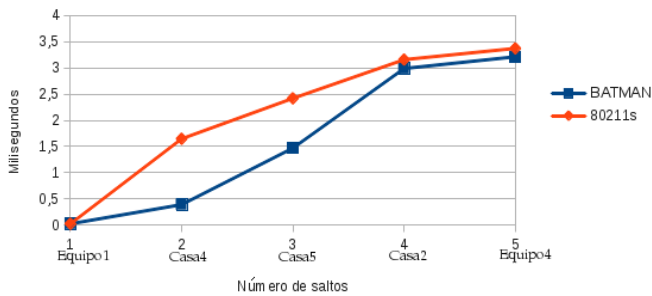


Fig. 2. Acumulación de retardo por número de saltos

En la Figura 3 se observa la variación drástica del ancho de banda con respecto al número de saltos. Así mismo, al igual que en el caso del retardo, se verifica que se obtienen mejores prestaciones con Batman-Adv que con IEEE 802.11s.

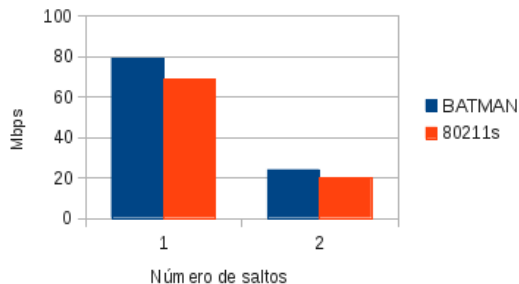


Fig. 3. Variación del ancho de banda máximo según el número de saltos

En la Figura 4 se observa que la variación media del retardo ofrecida por la red es creciente con el número de saltos para ambos protocolos como cabría esperar en una red de paquetes. Otra vez más se verifica que Batman-Adv ofrece ligeramente mejores prestaciones.

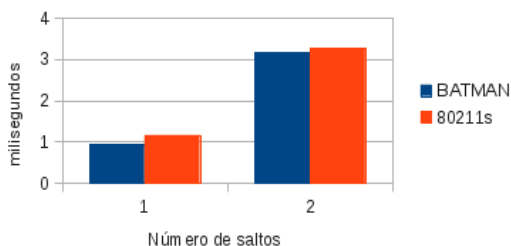


Fig. 4. Variación media del retardo según el número de saltos

De acuerdo a los resultados obtenidos de la red mallada experimental Batman-Adv ofrece mejores prestaciones que IEEE 802.11s. En [9] se indica que una de las hipótesis que puede justificar este comportamiento es que la métrica considerada por IEEE 802.11s es muy influenciada por la velocidad de transmisión del enlace, la cual depende principalmente del parámetro MCS (Índice de Modulación y Codificación, definido por el estándar IEEE 802.11n), cuyo valor cambia de forma automática de acuerdo a las variaciones en el nivel medio de la potencia recibida una vez que la señal pasa por el canal inalámbrico. Esta variabilidad de la métrica de IEEE 802.11s puede provocar inestabilidad

en la ruta, lo cual hace que el rendimiento de la red, calculada en base a los valores de retardo, ancho de banda y variación de retardo, disminuya.

Debido a que IEEE 802.11s calcula su métrica más rápidamente [9], es más adecuado en redes inalámbricas que presentan tasas altas de desvanecimiento ya que los cambios de ruta no implicarán grandes problemas en la calidad de la conexión. Con Batman-Adv la métrica, al basarse en la recepción de paquetes OGM del resto de los nodos, es más estable, y por lo tanto el rendimiento es mejor en canales inalámbricos con poco desvanecimiento como el considerado. En caso de caída de un nodo, Batman-adv se vería afectado en mayor medida que IEEE 802.11s debido a que su métrica no varía tan rápidamente como 802.11s.

V. CONCLUSIONES

Las redes malladas inalámbricas rurales pueden llegar a ofrecer altas prestaciones usando soluciones de encaminamiento de nivel 2. Aunque tanto Batman-Adv como IEEE 802.11s ofrecen un buen rendimiento, cabe destacar que Batman-Adv, en general y en la red evaluada, se comporta de una mejor forma. En escenarios en los que se requiera alta fiabilidad, IEEE 802.11s puede ser más conveniente. Se puede considerar que el uso de ambos protocolos para implementar redes malladas inalámbricas en zonas rurales es adecuado, eligiendo uno u otro de acuerdo al entorno de propagación en el que el enlace es establecido.

AGRADECIMIENTOS

Este trabajo ha sido realizado en los laboratorios del Área de Tecnologías de Acceso y Radiopropagación del INICTEL-UNI, con apoyo de la Universidad Politécnica de Madrid.

REFERENCIAS

- [1] Village Telco (2011). <http://villagetelco.org>. Acceso: Dic 2012.
- [2] Proyecto RedesLibres Latinoamérica - Altermesh (2012, Sep). <http://redeslibres.altermundi.net>. Acceso: Dic 2012.
- [3] IEEE 802.11s Task Group, IEEE P802.11s/D10.01. Draft Standard for Information Technology. Telecommunications and information exchange between systems. Amendment 10: Mesh Networking IEEE 802.11s Draft 10.01. Abril de 2011.
- [4] C. Aichele, M. Lindner, S. Wunderlich, A. Neumann. IETF Work In Progress Internet-Draft Better approach to mobile ad-hoc networking (batman), 2008. <http://tools.ietf.org/html/draft-openmesh-b-a-t-m-a-n-00>. Acceso: Dic 2012.
- [5] Venkat Mohan Sarabu, "Routing Protocols for Wireless Mesh Networks", IJSEER (2011, Aug).
- [6] C. Aichele, M. Lindner, A. Neumann B.A.T.M.A.N Status Report, 2007. <http://downloads.open-mesh.org/batman/papers/batman-status.pdf> Acceso: Dic 2012
- [7] E. Chissungu, E. Blake, Hanh Le, "Investigation into BATMANd-0.3.2 Protocol Performance in an Indoor Mesh Potato Testbed", Cape Town, South Africa: University of Cape Town.
- [8] Albert Batiste Troyano, "Protocolos de encaminamiento en redes inalámbricas mesh: un estudio teórico y experimental", Sevilla, España: Universidad de Sevilla, 2011.
- [9] Rosario G. Garroppo, Stefano Giordano, Luca Tavanti, "Experimental evaluation of two open source solutions for wireless mesh routing at layer two", Pisa, Italy: Università di Pisa.